

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA NUOVA ENNA – DITTAINO (LOTTO 4b)

OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI

Cavalcaferrovia pk 13+400

Relazione di calcolo opere provvisionali

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3V 40 D 09 CL IV0103 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autenticato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	E. Abbasciano	Dicembre 2019	M. D'Effremo	Dicembre 2019	F. Sparacino	Dicembre 2019	Autenticato Data

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittorini
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 420783

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3	MATERIALI.....	5
3.1	ACCIAIO S275	5
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	6
4.1	TERRENO DI FONDAZIONE	6
5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	8
6	CRITERI DI PROGETTO	8
6.1	PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA	8
6.2	MODELLI DI CALCOLO	8
6.1	GALLERIA.....	8
7	ANALISI DEI CARICHI.....	10
7.1	PESO PROPRIO	10
7.2	SPINTA STATICA DELLE TERRE.....	10
7.3	SPINTA STATICA DELL'ACQUA.....	12
7.4	SPINTA DA SOVRACCARICO ACCIDENTALE	12
7.5	COMBINAZIONI DI CARICO	13
8	RISULTATI.....	15
8.1	PARETI	15

1 PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo lungo la direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo del nuovo collegamento Palermo-Catania.

Le Analisi e Verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento al cavalcaferrovia, alla pk 13+400.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018.

La palanca provvisoria prevista al fine di eseguire gli scavi necessari alla realizzazione delle opere di fondazione del cavalcaferrovia, viene realizzata in metallo con sezioni di tipo AZ46, unite da giunti di tipo Larsenn. La palanca ha lunghezza di 12m.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento della struttura è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.

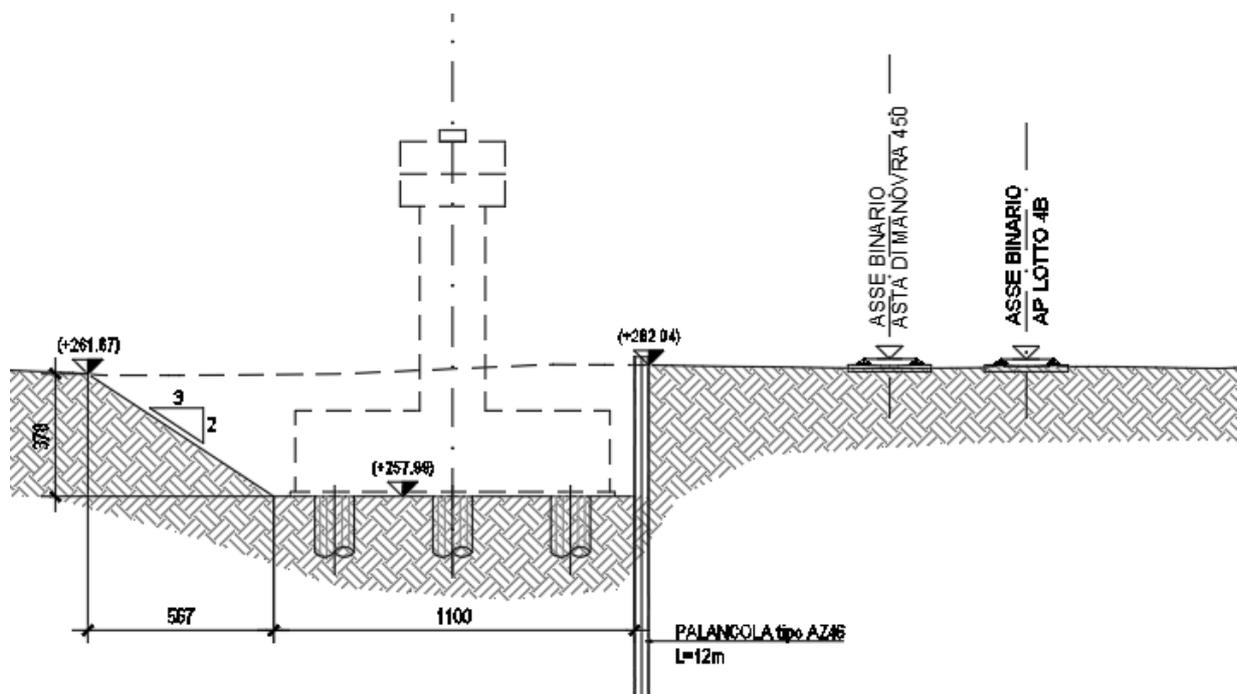


Fig. 1 – Sezione trasversale dell'opera

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- L. n. 64 del 2/2/1974 "Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- L. n. 1086 del 5/11/1971 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.
- Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- RFI DTC SI MA IFS 001 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- RFI DTC SI SP IFS 001 B – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- CNR-DT207/2008 Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- EUROCODICE 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo
- EUROCODICE 7: progettazione geotecnica
- Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

3 MATERIALI

3.1 Acciaio S275

La carpenteria metallica sarà realizzata in acciaio tipo S275 conforme alle prescrizioni del D.M. 17.1.2018 e presentare le seguenti caratteristiche:

- tensione di rottura a trazione $f_t \geq 430 \text{ MPa}$
- tensione di snervamento $f_y \geq 275 \text{ MPa}$
- allungamento (lamiere) $\varepsilon_t \geq 21\%$
- modulo elastico $E_a = 210.000 \text{ MPa}$

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si rimanda alla relazione geotecnica per la trattazione completa dei parametri geotecnici.

4.1 Terreno di fondazione

Per il terreno esistente sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche :

Da 0 a -12.0 formazione BA

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 2 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 70 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 75 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$E'_{op} = E_o/5 = 22 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico operativo per analisi opere di sostegno e fondazioni dirette

oltre 12.0 alluvioni ghiaiose:

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 33^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$E_o = 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	IV 01 00 001	A	7 di 20

$E' = E_0/5$ MPa
opere di sostegno

modulo di deformazione elastico operativo per calcolo cedimenti fondazione e

$E' = 80$ MPa

$E' = 120$ MPa

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

In quanto l'opera è provvisoria, non si applica l'azione sismica

6 CRITERI DI PROGETTO

6.1 Programmi per l'analisi automatica

Lo stato tenso-deformativo della paratia è stato investigato mediante il software di calcolo *PARATIEPLUS*.

6.2 Modelli di calcolo

Lo stato tenso-deformativo dell'opera è stato investigato mediante il software di calcolo *PARATIE PLUS*, programma non lineare agli elementi finiti per l'analisi di strutture di sostegno flessibili.

Si è considerato un comportamento piano nelle deformazioni, analizzando una striscia di parete di larghezza unitaria. La realizzazione dello scavo sostenuto da paratie è seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una quota di scavo, da un insieme di puntoni e tiranti applicati e da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

6.1 Galleria

Palancola è costituita profili di tipo AZ46 L=12m.

Si incrementa l'altezza di scavo del 10% secondo quanto riportato al cap.6.5.2.2 delle NTC(4.0m*1.1= 4.5m). La sezione calcolata presenta la scarpata di altezza maggiore.

Nella modellazione è implementata la seguente successione di step:

Step 0. Inizializzazione geostatica.

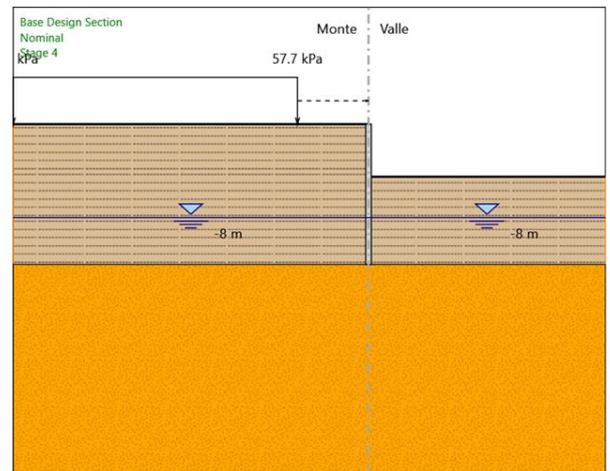
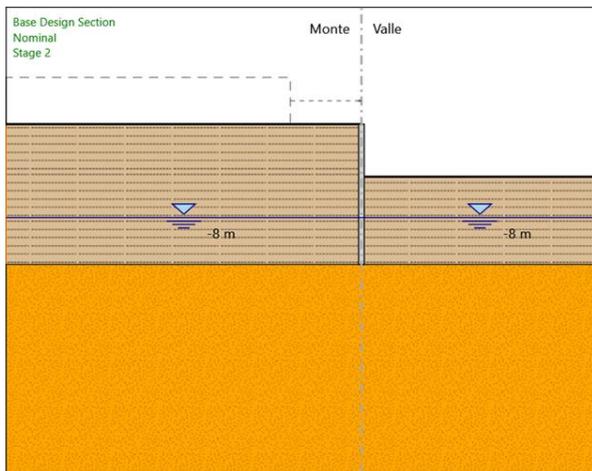
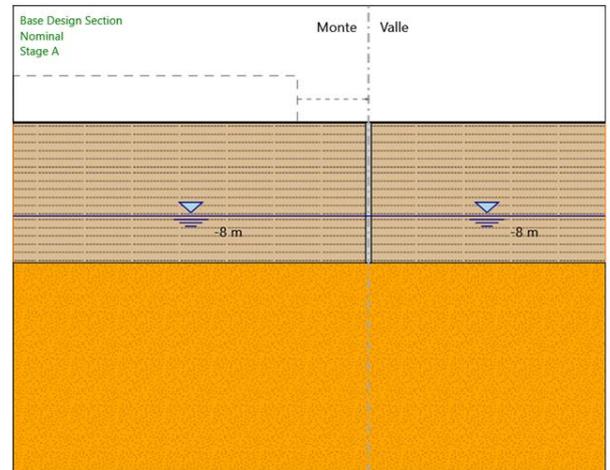
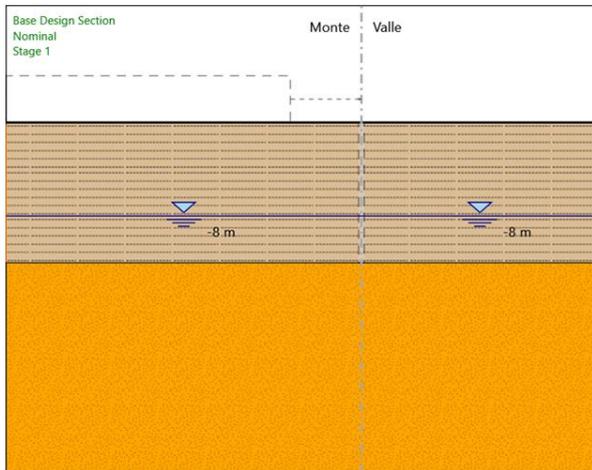
Step 1. Esecuzione palancola.

Step 2. Scavo.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	IV 01 00 001	A	9 di 20

Step 3. Applicazione carico.

Di seguito si riportano le immagini relative alle fasi di calcolo:



7 ANALISI DEI CARICHI

7.1 Peso Proprio

Il peso proprio della struttura è calcolato in base alla geometria degli elementi strutturali e al peso specifico assunto per i materiali:

$$\gamma_{cls}=78.5 \quad \text{kN/m}^3$$

7.2 Spinta statica delle terre

Nel modello di calcolo impiegato dal software di calcolo PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (\text{OCR})^m$$

dove

$$K_0^{NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Per tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno il software PARATIE impiega per K_a e K_p la formulazione rispettivamente di Coulomb e Lancellotta.

Formulazione di Coulomb per k_a

$$k_a = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \frac{\sqrt{\sin(\delta + \phi') \cdot \sin(\phi' - i)}}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)} \right]^2}$$

dove:

ϕ' è l'angolo di attrito del terreno

β è l'angolo d'inclinazione del diaframma rispetto alla verticale

δ è l'angolo di attrito paratia-terreno

i è l'angolo d'inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale

Il valore limite della tensione orizzontale sarà pari a

$$\sigma'_h = K_a \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_a}$$

$$\sigma'_h = K_p \cdot \sigma'_v + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_p}$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente. c' è la coesione drenata del terreno.

Formulazione di Lancellotta per k_p

$$K_p = \left[\frac{\cos \delta}{1 - \sin \Phi'} (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \Phi' - \sin^2 \delta}) \right] e^{2\theta \tan \Phi'}$$

dove:

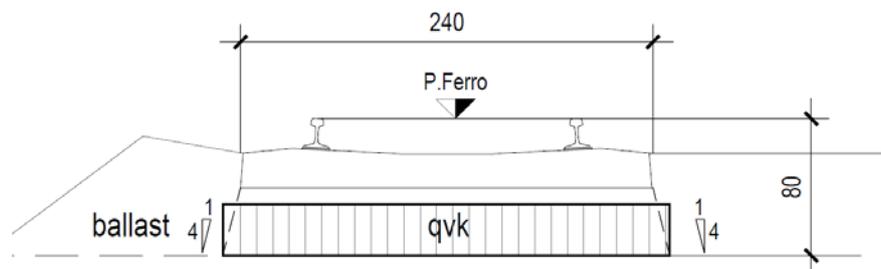
$$2\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \delta}{\sin \Phi'} \right) + \delta$$

7.3 Spinta statica dell'acqua

La spinta dell'acqua è proporzionale alla profondità a partire dalla quota di falda. La falda è posta a 8.0m da p.c..

7.4 Spinta da sovraccarico accidentale

I carichi variabili associati al passaggio dei convogli, vengono schematizzati, ai fini del calcolo, con dei carichi uniformi q_{vk} applicati a -0.80m da PF, su una larghezza complessiva pari alla dimensione della traversina, incrementata dell'estensione delle fasce di diffusione dei carichi all'interno del ballast sino alla quota considerata, secondo quanto indicato nella figura seguente:



I criteri di diffusione dei carichi all'interno del ballast tengono conto in particolare di quanto specificato al § 2.5.1.4.1.4 del documento RFI DTC SI MA IFS 001 B.

Per la determinazione dell'entità dei carichi da considerare, si è inoltre fatto riferimento a quanto specificato al § 3.5.2.3.4 del documento RFI DTC SI MA IFS 001 B, dove viene precisato che, per le opere in terra e le opere di sostegno sarà da utilizzarsi il treno di carico SW2, cui corrisponde un carico a metro lineare di binario pari a 150 KN/m.

Si riporta dunque nel seguito la determinazione del valore del carico q_{vk} per il caso specifico:

Ricoprimento tot.(m)	0,80	-	(da piano ferro a intradosso ballast)
Dimensione traversina (m) =	2,40	-	
PF-intrad traversina.(m)	0,40	-	(da base traversina a intradosso ballast)
Ballast(m)	0,40	(4/1)	(vert./orizz)

Impronta trasv sovraccarico a intradosso ballast :

D_s (m) = 2,60

TRENO SW/2 - Sovraccarico equivalente

Q_{vk} = 150,0 KN/m

Sovraccarico equivalente ad intradosso ballast

q_{vk} = 57,7 KN/m²

entità del carico

L_{qvk} = 2,60 m

fascia di applicazione carico ad intradosso ballast

7.5 Combinazioni di carico

Per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)
- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;

- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;

- instabilità del fondo scavo per sollevamento;

- sifonamento del fondo scavo;

- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;

- SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;

- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;

- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia,

accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)

- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

Fermo restando quanto specificato nel § 6.5.3.1.1 per il calcolo delle spinte, per valori dell'angolo d'attrito tra terreno e parete $\delta > \varphi'/2$ ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_G

Tabella 1- Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tab. 6.2.I NTC2018)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_r	1,0	1,0

Tabella 2- Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab.6.2.II NTC2018)

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Tabella 3: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (Tabella 6.8.I - NTC 2018)

8 RISULTATI

8.1 Pareti

Stratigrafia:

Tipo : HORIZONTAL

Quota : 0 m

OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL

Quota : -12 m

OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	γ dry	γ sat	θ'	θ	ν	ϕ	c'	Su	Modulo	Elastico	Eu	Evc	Eur	Ah	Avexp	Pa	Rur/Rvc	Rvc	Ku	Kvc	Kur
		kN/m ³	kN/m ³	°	°	°	°	kPa	kPa			kPa	kPa	kPa			kPa		kPa	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³
1	ba	19	19	24				2		Constant		22000	66000									
2	TRVB2	19	19	33				0		Constant		80000	240000									

Parete:

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Muro di sinistra

Sezione : palanca

Area equivalente : 0.0291 m

Inerzia equivalente : 0.0011 m⁴/m

Profilo palanca : AZ 46



Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.22 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.65 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

Risultati Elementi parete (Beam)

Max. momento (assoluto) [kNm/m] 405.94 Z = -8 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

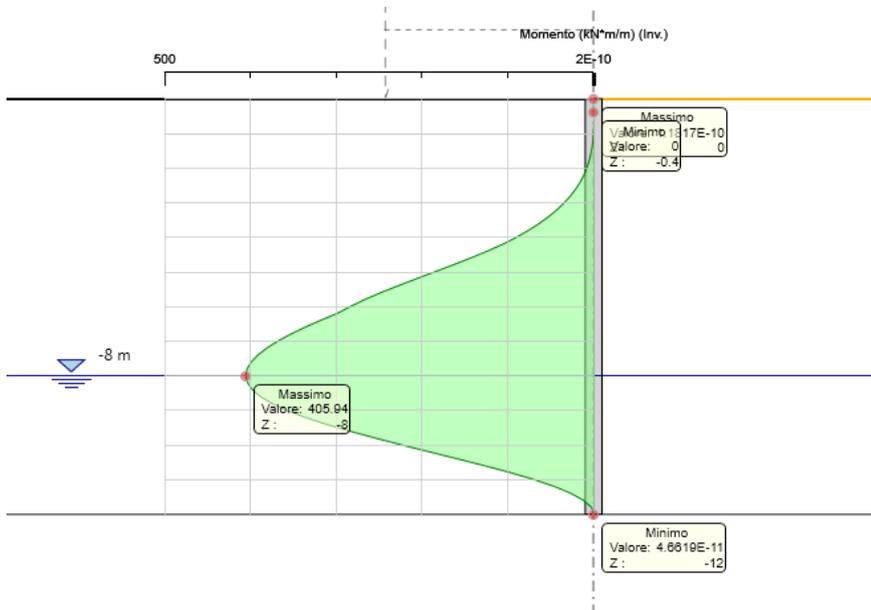
Max. taglio [kN/m] 161.98 Z = -10.4 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

Max. struttamento in flessione 0.337 Z = -8 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

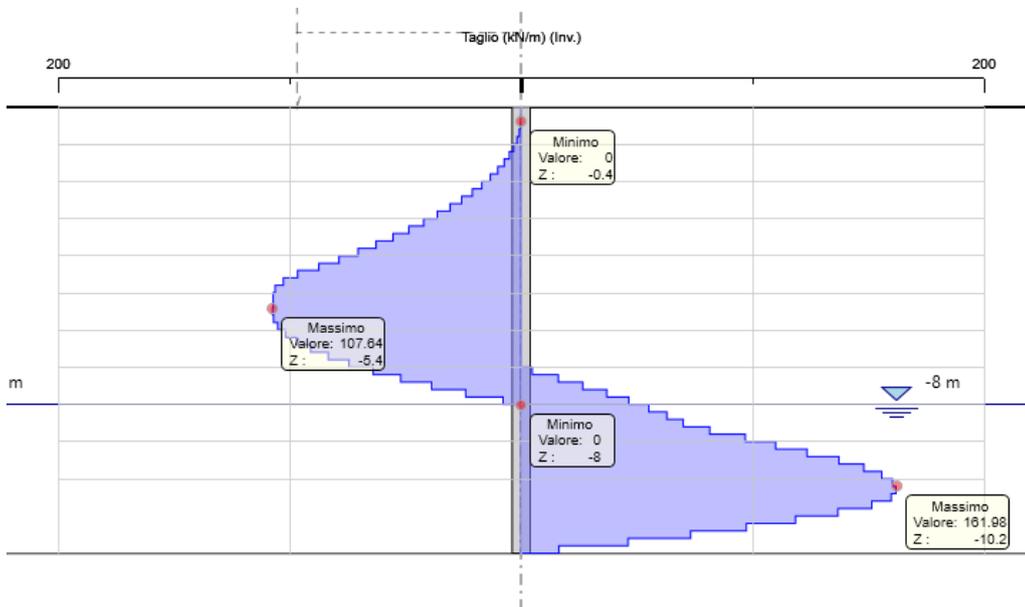
Max. struttamento a taglio 0.096 Z = -10.2 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 4)

Inviluppo Momento:

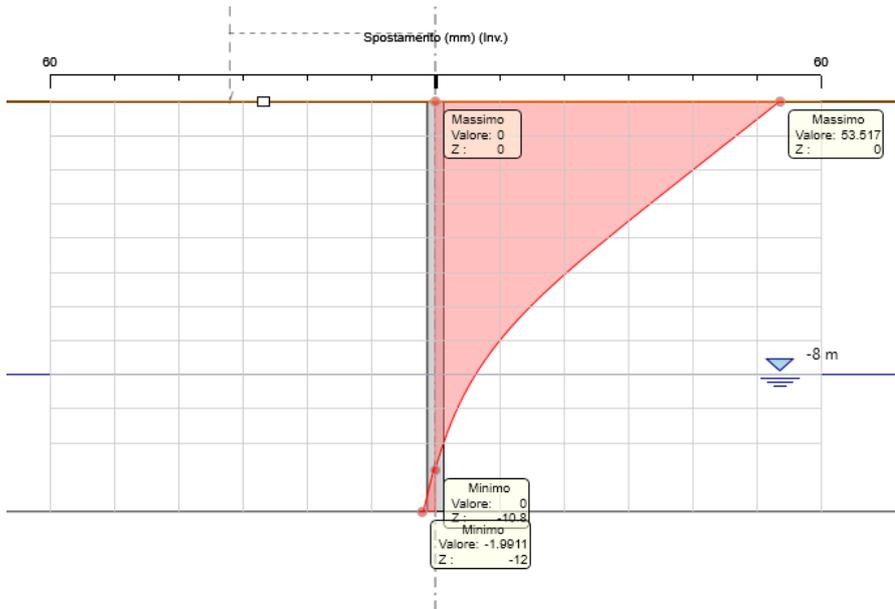
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	IV 01 00 001	A	18 di 20



Inviluppo Taglio:



Spostamento SLE:



Riepilogo Combinazioni di carico

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_seis_m_load)	Pressioni Acqua Monte (F_WaterDR)	Pressioni Acqua Valle (F_WaterRes)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_QDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UPL_QDStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_UPL_QDStab)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_HYD_QDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_QDStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYD_QDStab)
Simbolo	γ_G	γ_G	γ_Q	γ_Q	γ_{QE}	γ_G	γ_G	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}	γ_{Gdst}	γ_{Gstb}	γ_{Qdst}
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1.35	1	1.45	0	0	1.35	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1	1.25	0	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 CL	IV 01 00 001	A	20 di 20

Nome	Parziale su tan(ϕ') (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	$\gamma\phi$	γc	γcu	γqu	$\gamma\gamma$
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	γRe	γap	γat	
Nominal	1	1	1	1
NTC2018: SLE	1	1	1	1
(Rara/Frequente/Quasi Permanente)				
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1